ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

FS 2016
Prof. Atac Imamoglu

Physik 1: Wellen und Thermodynamik
Schriftliche Prüfung am 24.8.2016, 9-11Uhr

Bitte in Druckschrift ausfüllen

Name:

Vorname:

StudentInnen Nr.:

- Bitte führen Sie alle Rechnungen und Zwischenrechnungen auf den bereitgestellten Blättern durch. Falls zusätzliche Blätter erforderlich sind, sind diese mit Ihrem Vor- und Nachnamen zu beschriften. Achten Sie darauf, dass Ihnen **fünf** Aufgaben ausgeteilt wurden.
- Ergebnisse ohne Rechnung oder ohne nachvollziehbare Begründung können nicht gewertet werden. Bei numerischen Ergebnissen genügt eine Genauigkeit von 10%; numerische Resultate können auch als Bruchzahl dargestellt werden, wobei die Brüche so weit wie möglich zu kürzen sind.
- Erlaubte Hilfsmittel sind eine selbstverfasste Zusammenfassung von 10 Blättern (DIN A4) beidseitig beschrieben (von Hand oder Computerausdruck) sowie ein Fremdwörterlexikon. NICHT erlaubt sind Taschenrechner, Laptops, PDAs, Mobiltelefone und vergleichbare Geräte.
- Legen Sie Ihre Legi vor sich auf den Tisch. Mobiltelefone müssen ausgeschaltet sein.
- Wir weisen Sie darauf hin, dass Sie im Falle von unehrlichen Handeln bei Prüfungen den Strafnormen der Disziplinarordnung der ETH Zürich unterstehen.

KORREKTUR:

Aufgabe	Punkte	AssistentIn
1	/ 14	
2	/ 14	
3	/ 10	
4	/ 16	
5	/ 6	
Σ	/ 60	

NOTE:

Aufgabe 1 - Wellenmechanik eines Seils (14 Punkte)

Ein transversale harmonische Welle mit Frequenz $f = 2\,\mathrm{Hz}$, Wellenlänge $\lambda = 50\,\mathrm{cm}$ und Amplitude $A = 1\,\mathrm{cm}$ bewegt sich auf einem (unendlich ausgedehnten) gespannten Seil mit Massendichte $\mu = 10\,\mathrm{g/m}$. Zur Zeit $t = 0\,\mathrm{s}$ durchläuft die Auslenkung der Welle am Koordinatenursprung $x = 0\,\mathrm{cm}$ gerade den positiven Nulldurchgang, d.h. die Auslenkung ändert ihr Vorzeichen von negativ nach positiv, wenn man in positiver Richtung auf der x-Achse läuft.

(a) Bestimmen Sie die Phasengeschwindigkeit der Welle. (2 Punkte)

(b) Geben Sie eine allgemeine Formel $y(x, t)$ für die Auslenkung der Welle als Funktion von Ort und Zeit an. (2 Punkte)

(c) Stellen Sie die Auslenkung am Punkt $x = 100\,\mathrm{cm}$ als Funktion der Zeit t in einem Diagramm dar. Dabei die Achsenbeschriftung nicht vergessen! (2 Punkte)

(d) Stellen Sie die Auslenkung zum Zeitpunkt $t = 2,5\,\mathrm{s}$ als Funktion des Ortes x in einem Diagramm dar. (2 Punkte)

(e) Bestimmen Sie die Leistung, die von der Welle transportiert wird. (2 Punkte)

(f) Mit einer Schere trennen Sie nun 50 cm des Seils ab, befestigen ein Ende und ziehen mit einer Kraft von $F = 9\,\mathrm{N}$ am anderen Ende. Bestimmen Sie die drei niedrigsten Eigenfrequenzen dieser Saite. (4 Punkte)

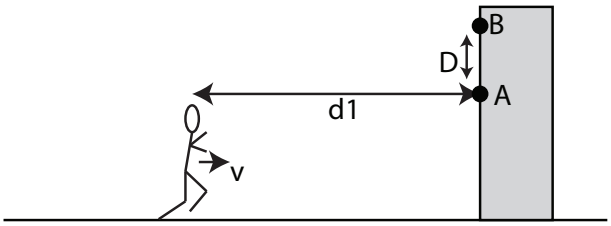
Aufgabe 2 - Lautsprecher an einer Wand (14 Punkte)

Ein Lautsprecher A ist an einer Wand platziert und generiert (sphärische) Schallwellen mit einer Frequenz $f_0 = 340\,\mathrm{Hz}$. Eine Person, die sich zur Zeit $t = 0\,\mathrm{s}$ im Abstand $d_1 = 20\,\mathrm{m}$ von der Wand befindet, rennt mit der Geschwindigkeit v in Richtung Wand (siehe Abbildung). Die Schallgeschwindigkeit in Luft beträgt $v_\mathrm{s} = 340\,\mathrm{m/s}$.

(a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit v der Person, wenn diese eine Frequenz von $f = 346\,\mathrm{Hz}$ wahrnimmt. (4 Punkte)

(b) Während die Person in Richtung des (mit konstanter Leistung emittierenden) Lautsprechers läuft, erhöht sich die wahrgenommene Schallintensität $I(t)$. Berechnen Sie das Verhältnis der Schallintensitäten $I(3\,\mathrm{s})/I(0\,\mathrm{s})$, die die Person zu den Zeitpunkten $t = 0\,\mathrm{s}$ und $t = 3\,\mathrm{s}$ wahrnimmt. Geben Sie Ihr Ergebnis sowohl als einheitenlosen numerischen Wert als auch als Schallpegel in Dezibel (dB) an. (4 Punkte)

(c) Ein zweiter (zu Lautsprecher A identischer) Lautsprecher B wird im Abstand $D = 4\,\mathrm{m}$ zu Lautsprecher A an der Wand platziert (siehe Abbildung). Lautsprecher B sendet in Phase zu Lautsprecher A. Die Person befindet sich anfänglich wiederum in einem Abstand von $d_1 = 20\,\mathrm{m}$ von der Wand und geht auf diese zu. Wieviele Maxima in der Schallintensität kann die Person zählen, bis sie die Wand erreicht? (6 Punkte)



Aufgabe 3 - Eiswürfel für Grillparty (10 Punkte)

Sie veranstalten für Freunde eine Grillparty, die in einer Stunde beginnen soll. Überrascht stellen Sie fest, dass Sie keine Eiswürfel mehr für die Getränke haben. Um dies zu ändern, gießen Sie einen Liter Leitungswasser bei 10°C in eine Eiswürfelform und stellen diese in das Gefrierfach. Um die Getränke ausreichend kühlen zu können, sollen die Eiswürfel eine Temperatur von unter -10°C haben. Reicht die Zeit bis zum Partybeginn dafür aus?

Ihr Gefrierschrank hat laut Hersteller eine Leistungszahl von $\epsilon = 4,2$. Die Leistungszahl beschreibt dabei das Verhältnis aus der (dem kalten Reservoir, d.h. dem Wasser/Eis) entzogenen Wärmemenge Q_k und der eingesetzten Arbeit W, also $\epsilon = Q_\mathrm{k}/W$. Die Leistung, die für das Kühlen eingesetzt werden kann, sei $p = 50\,\mathrm{W}$. Für die spezifische Wärmekapazität von flüssigem Wasser gilt $c_\mathrm{Wasser} = 4,2\,\mathrm{kJ/(kg\,K)}$; für die von Eis gilt $c_\mathrm{Eis} = 2,1\,\mathrm{kJ/(kg\,K)}$. Die Schmelzwärme ist $H = 330\,\mathrm{kJ/kg}$.

(a) Nach welcher Zeit erreicht die Temperatur der Eiswürfel -10°C? (7 Punkte)

(b) Skizzieren Sie die Temperatur des Wassers/Eis als Funktion der Zeit. Betrachten Sie dazu den Zeitraum bis zum Beginn der Grillparty. (3 Punkte)

Aufgabe 4 - Otto-Kreisprozess (16 Punkte)

Der Otto-Kreisprozess ist ein thermodynamischer Zyklus, der vier thermodynamische Zustände eines idealen (einatomigen) Gases (T_1, V_1), (T_2, V_2), (T_3, V_3) und (T_4, V_4) durch folgende Arbeitsschritte miteinander verbindet:

$1 \to 2:$ adiabatische Kompression

$2 \to 3:$ isochore (d.h. $V = \text{const}$) Erwärmung

$3 \to 4:$ adiabatische Expansion

$4 \to 1:$ isochore Abkühlung

Das heiße Wärmereservoir habe die Temperatur $T_3 = T_\text{h}$, das kältere Reservoir die Temperatur $T_1 = T_\text{k}$. Das Anfangs- bzw. Expansionsvolumen sei $V_1 = V_\text{max}$ und das Kompressionsvolumen sei $V_2 = V_\text{min}$.

(a) Stellen Sie den Kreisprozess schematisch in einem Druck-Volumen-Diagramm dar. (2 Punkte)

(b) Stellen Sie den Kreisprozess schematisch in einem Temperatur-Entropie-Diagramm dar. Wie groß ist die Entropieänderung pro Durchlauf? (2 Punkte)

(c) Bestimmen Sie die (gesamte) geleistete Arbeit während eines Durchgangs. Geben Sie Ihr Resultat als Funktion der Temperaturen T_1 bis T_4 an. (4 Punkte)

(d) Wie groß ist die vom heißen Wärmereservoir während eines Durchgangs aufgenommene Wärme? Geben Sie Ihr Resultat als Funktion der Temperaturen T_1 bis T_4 an. (4 Punkte)

(e) Zeigen Sie, dass der Wirkungsgrad des Otto-Kreisprozesses in folgender Weise vom Verdichtungsverhältnis $\xi = V_\text{max}/V_\text{min}$ abhängt:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\xi^{\frac{C_\text{p}}{C_V} - 1}}$$

Hinweis: Aus den schematischen Darstellungen des Kreisprozesses in den Teilaufgaben a) und b) sollte hervorgehen, ob die betreffende Zustandsgröße während eines Arbeitsschrittes kleiner oder größer wird bzw. unverändert bleibt. Der genaue funktionale Zusammenhang muss aber nicht maßstabsgetreu wiedergegeben werden. (4 Punkte)

Aufgabe 5 - Reise in Richtung Sternbild Adler (6 Punkte)

Der Stern „Altair“ im Sternbild Adler ist von der Erde aus gesehen $16,7$ Lichtjahre entfernt.

(a) Wie lange würde ein Raumschiff mit der Geschwindigkeit $0,954\,\mathrm{c} \simeq \sqrt{0,91}\,\mathrm{c}$ benötigen, um den Stern zu erreichen, aus Sicht eines Beobachters auf der Erde? (2 Punkte)

(b) Wie groß ist die zurückgelegte Entfernung aus Sicht eines Beobachters im Raumschiff? (2 Punkte)

(c) Wie lange würde die Reise aus Sicht eines Beobachters im Raumschiff dauern? (2 Punkte)

Zusatzblatt #1

Zusatzblatt #2